

**SENSITIVITY EVALUATION METHOD OF ACCELERATION SENSOR ELEMENT**

特許公報番号 JP2000338128  
公報発行日 2000-12-08  
発明者: TAKAHASHI HIROYUKI; SHIBATA KAZUYOSHI; ANDO  
HIDEKI  
出願人 NGK INSULATORS LTD; NGK OPTOCERAMICS CO LTD  
分類:  
一国際: G01P21/00; G01P15/09; G01P15/18; H01L41/08;  
G01P21/00; G01P15/09; G01P15/18; H01L41/08; (IPC1-7):  
G01P21/00; G01P15/09; G01P15/18; H01L41/08  
一欧州:  
出願番号 JP20000069860 20000314  
優先権主張番号: JP20000069860 20000314; JP19990076768 19990319

ここにデータエラーを報告してください

**要約 JP2000338128**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To evaluate the main spindle sensitivity and the noise sensitivity of a detecting element by measuring the output of each detecting element when an acceleration sensor element is fixed to a vibration testing machine, and vibrated in the axial direction to be measured, and when each detecting element is fixed on a position rotated by 180 degrees, and vibrated. **SOLUTION:** An acceleration sensor element is fixed to a vibration generating machine having an excitation shaft, and vibrated in the axial direction to be measured among the X, Y, Z three axes, and the output of a detecting element of each axis is measured. Then the acceleration sensor element is fixed to the vibration testing machine on a position rotated by 180 degrees on a center of the excitation shaft, and vibrated in the axial direction to be measured, and the output of the detecting element for each axis is measured. The acceleration sensor element consists of a weight, a support mounted near the weight and having a hollow part, the detecting elements respectively for X, Y, Z axes, capable of converting the mechanical force into an electric signal, and a flexible board balancing the weight on the center of the hollow part of the support and bringing the same. The influence of the noise vibration from the vibration generating machine can be excluded by carrying out the calculation based on two measured values.

---

esp@cenet データベースから供給されたデータ - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-338128

(P2000-338128A)

(43) 公開日 平成12年12月8日 (2000.12.8)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テマコード (参考)

G 0 1 P 21/00

G 0 1 P 21/00

15/18

15/09

15/09

15/00

K

H 0 1 L 41/08

H 0 1 L 41/08

Z

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2000-69860 (P2000-69860)

(22) 出願日 平成12年3月14日 (2000.3.14)

(31) 優先権主張番号 特願平11-76768

(32) 優先日 平成11年3月19日 (1999.3.19)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000004064

日本碍子株式会社

愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号

(71) 出願人 597003608

エヌジーケー・オプトセラミックス株式会  
社

愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号

(72) 発明者 高橋 宏幸

愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号 日  
本碍子株式会社内

(74) 代理人 100088616

弁理士 渡邊 一平

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 加速度センサ素子の感度評価方法

(57) 【要約】

【課題】 振動試験機に由来するノイズ振動の影響を排除することができ、測定対象とする軸の感度と他の軸の感度とをいずれも正確に評価することが可能な加速度センサ素子の感度評価方法を提供する。

【解決手段】 外部から作用する加速度をX, Y, Zの各軸毎の加速度成分として検出し得る加速度センサ素子の感度評価方法である。振動試験機に加速度センサ素子を固定し、測定対象とする軸方向に加振してX, Y, Z各軸用の検出素子から出力される第1の電気的出力を測定し、次いで加振軸を中心に180°回転した位置に加速度センサ素子を固定し、測定対象とする軸方向に再度加振してX, Y, Z各軸用の検出素子から出力される第2の電気的出力を測定する。

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 機械的力を電気的信号として出力する検出素子により、外部から作用する加速度をX、Y、Zの各軸毎の加速度成分として検出し得る加速度センサ素子の感度を評価する方法であって、

加振軸を有する振動試験機に前記加速度センサ素子を固定し、当該加速度センサ素子のX、Y、Zの各軸のうち測定対象とする1の軸方向に加振して、X、Y、Z各軸用の検出素子から出力される第1の電気的出力を測定し、

次いで、前記振動試験機において、前記加振軸を中心に180°回転した位置に前記加速度センサ素子を固定し、前記測定対象とする1の軸方向に再度加振して、X、Y、Z各軸用の検出素子から出力される第2の電気的出力を測定することを特徴とする加速度センサ素子の感度評価方法。

【請求項2】 感度評価の対象となる加速度センサ素子が、重錘と、当該重錘近傍に周設された、中空部を有する支台と、機械的力を電気的信号として出力するX、Y、Z各軸用の検出素子を有し、かつ、前記支台の中空部の中心に重錘を釣支するように支台に横架された可撓板と、によって構成された加速度センサ素子である請求項1に記載の加速度センサ素子の感度評価方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、圧電型素子等の機械的力を電気的信号として出力する検出素子により、外部から作用する加速度をX、Y、Zの各軸毎の加速度成分として検出し得る加速度センサ素子の感度を評価する方法に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 自動車産業や機械産業では、力、加速度、磁気などの物理量を正確に検出できるセンサの需要が高まっている。特に、二次元あるいは三次元の各成分ごとにこれらの物理量を検出し得る小型のセンサが望まれている。例えば、作用体を有する可撓板上に複数の圧電体を載置したセンサが公開されている（特開平5-26744号公報）。

【0003】 このセンサは、外部から作用体に作用する物理量に対応して可撓板が変形するように構成されており、当該可撓板の変形による歪みに応じて圧電体が発生する電荷により、前記物理量の方向及び大きさを単一のセンサ素子により三次元的に検出することができるものである。

【0004】 作用体を重錘とした加速度センサの例により説明すると、図2に示すように、センサ素子に対し外部から加速度aが作用した場合、重錘10には加速度aと相反する方向に慣性力fが作用するため、重錘10-支台11間に横架された可撓板12に慣性力fに伴う変形が生ずる。

【0005】 当該変形による歪みの方向及び大きさと可撓板12上に載置された圧電体13の分極方向および大きさに応じた電荷が圧電体13に発生するため、当該電荷を上部電極17x、17y、17z及び下部電極18から電気的信号として出力することにより外部から作用する加速度の方向及び大きさを検出することが可能となるのである。

## 【0006】

【発明が解決しようとする課題】 上述の加速度センサ素子は、外部から作用する加速度をX、Y、Zの各軸毎の加速度成分として検出するものであることに起因して、例えば重錘がX軸方向にのみ加速度を受けているにも拘わらず、Y軸方向、Z軸方向の感度を示す場合がある（以下、このような感度を「ノイズ感度」という。）。)

【0007】 センサの信頼性を担保するためにはノイズ感度の存在は好ましくないため、前記の例でいえば検出すべきX軸方向の感度（以下、このような感度を「主軸感度」という。）に対するノイズ感度の比率を所定範囲以内（例えば主軸感度を100%とした場合にノイズ感度は5%以下など）に抑制する必要がある。

【0008】 但し、加速度センサ素子の製造工程においてノイズ感度を0に作り込むことは非常に困難であるため、製造した加速度センサ素子のノイズ感度を正確に評価して、圧電型素子を構成する圧電体の分極度を調整する分極トリミング或いは圧電型素子を構成する電極の一部を切除するキャパシタンストリミング等のトリミングによりノイズ感度を抑制するように感度校正を行っている。

【0009】 一般に、加速度センサ素子の感度評価は、例えば動電型振動試験機等の加振軸を有する振動試験機に、加速度センサ素子のX、Y、Zいずれかの軸が振動試験機の加振軸と一致するように固定して加振し、X、Y、Z各軸用の圧電型素子から出力される電荷又は電圧を測定することにより行われる。

【0010】 例えば図1に示すように、振動試験機1は、内周面に励磁用コイル（又は永久磁石）2を備えた中空円筒状の基台3と、板バネ4により基台3の円筒状中空部中心に釣支された、円筒状の振動体5とを備えたものであり、振動体5は駆動用コイル6と一体に形成されている。

【0011】 振動試験機1によれば、励磁用コイル2への通電によって形成された電磁石（若しくは永久磁石）によって磁界を形成し、当該磁界中において駆動用コイル6に交流電流を通電することにより振動体5を基台3の円筒状中空部の中心軸を加振軸として上下方向に振動させることができる（以下、このような振動を「主軸振動」という。）。)

【0012】 従って、例えば加速度センサ素子のX軸を前記加振軸と一致するように振動体5の上面に固定し

て加振し、X、Y、Z各軸用の圧電型素子から出力される電荷又は電圧を測定すれば、本来検出すべきX軸方向の感度（主軸感度）と検出すべきでないY軸方向、Z軸方向の感度（ノイズ感度）のいずれもが正確に評価できるはずである。

【0013】 しかしながら、実際には、①振動試験機の振動体を釣支する複数の板バネのバネ性にはバラツキがあること、②加速度センサ素子の振動体への固定時に荷重を完全に均衡させてバランスを調整するのは困難であること、等に起因して、主軸振動のみならず、これと直交する振動成分（以下、このような振動成分を「ノイズ振動」という。）が発生する場合が生じ得る。

【0014】 前記ノイズ振動は、上述の例でいえば振動体上の加速度センサ素子をY軸方向、或いはZ軸方向に振動させる成分であるため、振動体上の加速度センサ素子はX軸方向のみに振動していないことになる。

【0015】 即ち、このような場合には、Y軸用素子、Z軸用素子の感度はノイズ振動の影響を含んだ値でしか評価できず、ノイズ感度を正確に評価することができないという問題があった。ノイズ感度が正確に評価できなければ、ノイズ感度を抑制する感度較正を行うこともできないため、加速度センサ素子の信頼性の低下につながり好ましくない。

【0016】 本発明は上記の事情に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、ノイズ振動の影響を排除することにより、加速度センサ素子の主軸感度とノイズ感度とをいずれも正確に評価することができる加速度センサ素子の感度評価方法を提供することにある。

【0017】

【課題を解決するための手段】 すなわち、本発明によれば、機械的力を電氣的信号として出力する検出素子により、外部から作用する加速度をX、Y、Zの各軸毎の加速度成分として検出し得る加速度センサ素子の感度を評価する方法であって、加振軸を有する振動試験機に前記加速度センサ素子を固定し、当該加速度センサ素子のX、Y、Zの各軸のうち測定対象とする1の軸方向に加振して、X、Y、Z各軸用の検出素子から出力される第1の電氣的出力を測定し、次いで、前記振動試験機において、前記加振軸を中心に180°回転した位置に前記加速度センサ素子を固定し、前記測定対象とする1の軸方向に再度加振して、X、Y、Z各軸用の検出素子から出力される第2の電氣的出力を測定することを特徴とする加速度センサ素子の感度評価方法が提供される。

【0018】 本発明の感度評価方法の対象となる加速度センサ素子としては、重錘と、当該重錘近傍に周設された、中空部を有する支台と、機械的力を電氣的信号として出力するX、Y、Z各軸用の検出素子を有し、かつ、前記支台の中空部の中心に重錘を釣支するように支台に横架された可撓板と、によって構成された加速度センサ素子が挙げられる。

【0019】

【発明の実施の形態】 本発明の感度評価方法の対象となる加速度センサ素子（以下、単に「センサ素子」という。）は、例えば図2に示す如く、重錘10と、重錘10近傍に周設された支台11と、機械的力を電氣的信号として出力する検出素子を有し、かつ、重錘10を釣支するように対向する支台11間に横架される可撓板12とによって構成されるセンサ素子が挙げられる。

【0020】 前記センサ素子における重錘10とは、上端面を可撓板12に当接するように釣支された、外部から作用する加速度の大きさ、方向に基づいて発生した力により、可撓板12に変形を生じさせるための部材である。

【0021】 重錘は、可撓板12に接着剤等により接着してもよく、或いは可撓板12と一体成形してもよい。重錘は、対称性の面から可撓板の中心部に釣支することが好ましい。

【0022】 重錘は、上端面を可撓板に当接するように釣支できる形状である限りにおいて特に限定されず、筒状の他、円錐台や異径円筒のように外径が連続的に或いは不連続に変化するものも包含される。但し、X-Y平面に対する対称性が高い点において図2に示すような円筒状が好ましい。

【0023】 重錘の材質も特に限定されないが、十分な質量があり密度の高いことに加えて、電磁波の影響を受け難く、熱膨張率の低い材質であるセラミックスにより構成することが好ましい。

【0024】 前記センサ素子における支台11とは、重錘10を中心として周設された、可撓板12及び重錘10を支持するための部材である。従って、可撓板12及び重錘10を支持し得る強度を有する限りにおいてその形状、材質等は特に限定されない。

【0025】 但し、加工が容易で、X-Y平面に対する対称性が比較的高い点において、図2に示すような外部形状が四角柱状で円筒状中空部16を有する形状が好ましく、剛性が高く、電磁波の影響を受け難い材質であるセラミックスにより構成することが好ましい。

【0026】 前記センサ素子における可撓板12とは、重錘10を釣支して対向する支台11間に横架された、検出素子を有する板状部材であって、機械的力を電氣的信号として出力する検出素子が配設される。可撓板は、可撓性を有し、重錘の挙動により破損しない限りにおいて、形状、材質等は特に限定されないが、図2に示すように1枚の板状体12により構成することが加工が容易な点において好ましい。

【0027】 検出素子としては、例えば圧電型、動電型、サーボ型、ストレインゲージ型、静電容量型の検出素子が挙げられるが、本発明においては広帯域、高感度、小型で軽量である点において図2に示すような圧電体を上下面から1組の電極（上部電極及び下部電極）で

挟持してなる圧電型素子（以下、単に「圧電素子」という。）であることが好ましい。

【0028】 検出素子が圧電素子である場合には、ヤング率が高く、圧電体に歪みを誘起し易いセラミックスで可撓板を構成することが好ましい。また、可撓板全体を圧電体で構成してもよい。

【0029】 圧電素子を構成する圧電体としては、PZT、PMN、PNN等の圧電セラミックスや有機圧電体等を用いることができるが、圧電特性に優れたPZTを用いることが好ましい。圧電体の形状は特に限定されないが、例えば図2に示すように可撓板12の上面全体に圧電体13を形成することができる。

【0030】 更に、圧電素子においては、上部電極、圧電体、下部電極は、必ずしも圧電素子毎に区分して形成する必要はなく、図2に示すように下部電極18及び圧電体13を可撓板12の上面全体に形成し、上部電極17x、17y、17zのみを区分して配置することによって圧電素子14x、14y、14zを形成してもよい。

【0031】 本発明の感度評価方法の対象となる加速度センサ素子は、外部から作用する加速度をX、Y、Zの各軸毎の加速度成分として検出し得るものであれば足り、単一の重錘・可撓板によってX、Y、Zの全ての軸の加速度成分を検出するものであることを要しない。例えば、X、Y、Zの各軸に対応する3基のセンサ素子を組み合わせてなる1組のセンサ素子であっても良い。

【0032】 但し、本発明においては加速度センサ素子が、1の可撓板上にX、Y、Z各軸用の圧電素子を有し、外部から作用する加速度を単一のセンサ素子によりX、Y、Zの各軸毎の加速度成分として検出し得る加速度センサ素子（以下、このようなセンサ素子を「3軸センサ素子」という。）に対して特に好適に用いることができる。

【0033】 既述した3基のセンサ素子を組み合わせる1組のセンサ素子の場合には、3基のセンサ素子の各々を感度評価し校正した後、組み合わせることも可能であるが、3軸センサ素子の場合には、1の可撓板上に全ての圧電素子を有する構造上、そのような方法を採用することは困難であるため、本発明のような方法でなければ、主軸感度とノイズ感度の双方を正確に評価し校正することはできないからである。

【0034】 図2に示すように3軸センサ素子の各軸用の圧電素子は、重錘10を中心として対称する位置に配置された少なくとも1対の圧電素子により構成される。当該1対の圧電素子を構成する圧電体はX、Y軸用のものは互いに逆極性に、Z軸用のものはいずれも同極性で同じ大きさの分極処理が施されている。

【0035】 このような分極処理により、図3（b）に示すように重錘10がZ軸方向に振動した場合にはX軸用の圧電素子14x及び図示されないY軸用の圧電素

子14yに発生した逆極性の電荷は互いに相殺されて電氣的信号は出力されず、一方、図3（c）に示すように重錘10がX、Y軸方向に振動した場合にはZ軸用の圧電素子14zに発生した逆極性の電荷は互いに相殺され、電氣的信号は出力されない。

【0036】 即ち、他の軸方向に作用する加速度の影響を受けることなく、X、Y、Z各軸毎の成分を検出することができるため、当該成分を合成することにより外部から作用する加速度の方向及び大きさを単一のセンサ素子によって三次元的に検知することが可能となる。

【0037】 以上のような構成のセンサ素子は、センサ素子の形状の断層形状に切断した複数のグリーンシートを積層し、一体に圧着した後、焼成する、グリーンシート積層法により成形でき、当該成形体にスクリーン印刷等の厚膜法の技術を用いて下部電極、圧電体、上部電極を形成することにより小型で高感度かつ高精度のセンサ素子を簡便に製造することが可能である。

【0038】 本発明の感度評価方法に使用する振動試験機とは、加振軸を有する振動試験機をいい、例えば図1に示すような、内周面に励磁用コイル（又は永久磁石）2を備えた中空円筒状の基台3と、板バネ4により基台3の円筒状中空部中心に釣支された、円筒状の振動体5とを備え、振動体5が駆動用コイル6と一体に形成された、動電型振動試験機等が挙げられる。

【0039】 図1の動電型振動試験機は、交流電流の通電により基台3の円筒状中空部の中心軸を加振軸として振動体5を振動させるが、実際には、①振動試験機の複数の板バネにおけるバネ性のバラツキ、②センサ素子の振動体への固定時における荷重の不均衡、等に起因して、基台3の円筒状中空部の中心軸と直交する振動成分（以下、このような振動成分を「ノイズ振動」という。）を含むため、その影響を排除する必要がある。

【0040】 そこで、本発明においては、加振軸を中心として180°対象の2つの位置において検出素子から出力される電氣的出力を測定する。当該2種の電氣的出力の測定値については、例えば後述するような数学的処理を施すことにより、振動試験機のノイズ振動の影響を相殺することができ、センサ素子の主軸感度とノイズ感度とをいずれも正確に評価することが可能となる。

【0041】 以下、図1の振動試験機を使用して、センサ素子をX軸方向に振動させた場合（主軸振動がX軸方向の場合）の電氣的出力の測定、及び数学的処理の例を説明するが、Y軸方向、Z軸方向に振動させた場合（主軸振動がY軸方向、或いはZ軸方向の場合）も全く同様の方法を用いることができる。

【0042】（電氣的出力の測定）まず、振動試験機1にセンサ素子を固定する。振動試験機1の加振軸と、測定対象とするセンサ素子のX軸の方向とが一致するように、加速度センサ素子を振動体5上面に固定する。

【0043】 次いで、振動試験機1の励磁用コイル2

に電流を通電し、更に駆動用コイル6に交流電流を通電することにより、センサ素子をX軸方向に加振し、X、Y、Z各軸用の検出素子から出力される電氣的出力を測定し、記録する（以下、「第1の電氣的出力の測定値」という。）。

【0044】更に、振動試験機1の振動体5上面であって、円筒状の振動体5の中心軸を基準として180°回転した位置にセンサ素子を固定し、再度センサ素子をX軸方向に加振して同様に電氣的出力を測定し、記録する（以下、「第2の電氣的出力の測定値」という。）。

【0045】例えば検出素子が圧電素子である場合には、測定する「電氣的出力」としては、当該圧電素子を構成する圧電体に発生する電荷若しくは当該電荷に伴い生ずる電圧等が挙げられる。この場合においては、リード線等のキャパシタンス成分の影響を受け難い点においては電荷を、比較的簡便に測定できる点においては電圧を測定することが好ましい。

【0046】また、電氣的出力を測定する際には、第1の電氣的出力を測定する際の振動のX軸方向の加速度成分と、第2の電氣的出力を測定する際の振動のX軸の加速度成分が等しくなるように振動試験機の入力電圧を調整する。こうすることにより、後述する数学的处理が容易なものとなるからである。

【0047】上述のように測定した第1の電氣的出力の測定値と第2の電氣的出力の測定値は全て、①振動試験機の複数の板バネにおけるバネ性のバラツキ、②センサ素子の振動体への固定時における荷重の不均衡、等に起因するノイズ振動（加振方向と直交する軸方向の振動成分）の影響を含む値であるが、例えば後述するような数学的处理を施すことにより、ノイズ振動の影響を相殺することができる。

【0048】（数学的处理）上述のようにセンサ素子をX軸方向に加振した場合における、X、Y、Z各軸用の検出素子からの第1の電氣的出力の測定値 $V_{x1}$ 、 $V_{y1}$ 、 $V_{z1}$ は加振機の主軸振動の加速度成分 $A_{x1}$ （X軸方向）のみならず、加振機のノイズ振動の加速度成分 $A_{y1}$ （Y軸方向）、 $A_{z1}$ （Z軸方向）の影響を含む値である。この点については第2の電氣的出力の測定値についても同様である。

【0049】また、X軸用検出素子はX軸方向の加速度に対する感度（主軸感度： $xx$ ）に対して一定の比率で、Y軸方向、Z軸方向の加速度に対する感度（ノイズ感度： $xy$ 、 $xz$ ）を有している。この点についてはY軸用の検出素子（ $yx$ ： $yy$ ： $yz$ ）、Z軸用の検出素子（ $zx$ ： $zy$ ： $zz$ ）についても同様である。

【0050】上述のような条件下における、検出素子からの電氣的出力、実際に加わった加速度成分、及び検出素子の感度、の相互の関係は、第1の電氣的出力の測定値については下記式1、第2の電氣的出力の測定値については下記式2のように表すことができる。

10

20

30

40

50

【0051】

【式1】

$$\begin{bmatrix} V_{x1} \\ V_{y1} \\ V_{z1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} xx & xy & xz \\ yx & yy & yz \\ zx & zy & zz \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_{x1} \\ A_{y1} \\ A_{z1} \end{bmatrix}$$

【0052】

【式2】

$$\begin{bmatrix} V_{x2} \\ V_{y2} \\ V_{z2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} xx & xy & xz \\ yx & yy & yz \\ zx & zy & zz \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_{x2} \\ A_{y2} \\ A_{z2} \end{bmatrix}$$

【0053】ここで、X軸方向の加速度成分 $A_{x1}$ を100とした場合におけるノイズ振動の加速度成分 $A_{y1}$ の相対比を $\beta$ 、 $A_{z1}$ の相対比を $\gamma$ とすると、第1の電氣的出力測定時には下記式3が成立する。

【0054】

【式3】

$$\begin{bmatrix} A_{x1} \\ A_{y1} \\ A_{z1} \end{bmatrix} = \frac{A_{x1}}{100} \begin{bmatrix} 100 \\ \beta \\ \gamma \end{bmatrix}$$

【0055】一方、センサ素子を180°回転後の第2の電氣的出力測定時には、ノイズ振動の大きさは同じであるもののセンサ素子に対して全く逆の方向に作用することになるため、 $\beta$ 及び $\gamma$ の符号が逆転し、下記式4が成立する。

【0056】

【式4】

$$\begin{bmatrix} A_{x2} \\ A_{y2} \\ A_{z2} \end{bmatrix} = \frac{A_{x2}}{100} \begin{bmatrix} 100 \\ -\beta \\ -\gamma \end{bmatrix}$$

【0057】式1に対して式3を代入することにより下記式5を、式2に対して式4を代入することにより下記式6を導くことができる。

【0058】

【式5】

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} V_{x1} \\ V_{y1} \\ V_{z1} \end{bmatrix} &= \frac{A_{x1}}{100} \begin{bmatrix} xx & xy & xz \\ yx & yy & yz \\ zx & zy & zz \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 100 \\ \beta \\ \gamma \end{bmatrix} \\ &= \frac{A_{x1}}{100} \begin{bmatrix} 100xx + \beta xy + \gamma xz \\ 100yx + \beta yy + \gamma yz \\ 100zx + \beta zy + \gamma zz \end{bmatrix} \end{aligned}$$

【0059】

【式6】

$$\begin{bmatrix} V_{x2} \\ V_{y2} \\ V_{z2} \end{bmatrix} = \frac{A_{x2}}{100} \begin{bmatrix} 100x_x - \beta_{xy} - \gamma_{xz} \\ 100y_x - \beta_{yy} - \gamma_{yz} \\ 100z_x - \beta_{zy} - \gamma_{zz} \end{bmatrix}$$

【0060】 既述のように電氣的出力を測定する際には、第1の電氣的出力を測定する際の振動のX軸方向の加速度成分 $A_{x1}$ と、第2の電氣的出力を測定する際の振動のX軸の加速度成分 $A_{x2}$ が等しくなるように振動試験機の入力電圧を調整しているため、下記式7が成り立つ。

【0061】

【式7】

$$A_{x1} = A_{x2} = A_x$$

【0062】 従って、式5と式6との和からノイズ振動 $\beta$ 、 $\gamma$ の項が消去された、下記式8を導くことができる。式8からはX軸方向の加速度に対するX軸用検出素子の主軸感度 $x_x$ 、及びノイズ振動の影響を含まないY軸用検出素子、Z軸用検出素子のノイズ感度 $y_x$ 、 $z_x$ を求めることができる。

【0063】

【式8】

$$\begin{bmatrix} x_x \\ y_x \\ z_x \end{bmatrix} = \frac{1}{2A_x} \begin{bmatrix} V_{x1} + V_{x2} \\ V_{y1} + V_{y2} \\ V_{z1} + V_{z2} \end{bmatrix}$$

【0064】 一方、式5と式6との差からは下記式9を導くことができる。この場合において、出力成分 $\beta_{xy}$ 、 $\gamma_{xz}$ 、 $\beta_{yy}$ 、 $\gamma_{yz}$ 、 $\beta_{zy}$ はノイズ振動についてのノイズ感度であるから、ノイズ振動についての主軸感度である出力成分 $\beta_{yy}$ 、 $\gamma_{zz}$ と比較して極めて小さい値となり無視できる。従って、式9は式10のように近似でき、ノイズ振動のY軸方向の加速度成分の相対比 $\beta$ 、Z軸方向の加速度成分の相対比 $\gamma$ の近似値をも求めることができる。

【0065】

【式9】

$$\begin{bmatrix} \beta_{xy} + \gamma_{xz} \\ \beta_{yy} + \gamma_{yz} \\ \beta_{zy} + \gamma_{zz} \end{bmatrix} = \frac{50}{A_x} \begin{bmatrix} V_{x1} - V_{x2} \\ V_{y1} - V_{y2} \\ V_{z1} - V_{z2} \end{bmatrix}$$

【0066】

【式10】

$$\begin{bmatrix} \beta \\ \gamma \end{bmatrix} \approx \frac{50}{A_x} \begin{bmatrix} \frac{V_{y1} - V_{y2}}{yy} \\ \frac{V_{z1} - V_{z2}}{zz} \end{bmatrix}$$

【0067】 既述のような数学的処理により、振動試験機のノイズ振動の影響を相殺してセンサ素子の主軸感

度とノイズ感度とをいずれも正確に評価することが可能となる。

【0068】 但し、加振機において加わる振動は正弦波であり、例えば振動体が楕円状の軌道を描いて振動する場合等には、主軸振動とノイズ振動の位相は必ずしも一致しない。従って、実際には式11に示すようにノイズ振動の位相遅れ $\theta_y$ 、 $\theta_z$ を考慮しなければならない点に留意する必要がある。

【0069】

10 【式11】

$$\begin{bmatrix} A_x \\ A_y \\ A_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_x \sin(\omega t) \\ A_y \sin(\omega t + \theta_y) \\ A_z \sin(\omega t + \theta_z) \end{bmatrix}$$

【0070】

【実施例】 以下、本発明の感度測定方法について実施例により更に詳細に説明する。本実施例においては振動試験機として図1に示す構造の動電型振動試験機を、電氣的出力として電圧を測定することにより行った。

20 【0071】 センサ素子の固定は図4に示す治具2

2、23、26を使用して行った。治具22はセンサ素子20と略同一形状の開口部22cを備えた箱状であって、同軸線21を引き出すための細溝22d、及び四隅にめねじ22a、辺中央にボルト穴22bが形成されている。

【0072】 治具23は平板状であって、治具22と同様に四隅にボルト穴23a、辺中央にボルト穴23bが形成されている。また、治具26は治具22、23と一辺の長さを同じくする正六面体であって、四隅にボルト穴26a、辺中央にめねじ26bが形成されている。更に、振動試験機の振動体28にもめねじ28aを形成し、めねじ28a近傍に標準加速度ピックアップ31を瞬間接着剤で固定した。

【0073】 まず、電荷の検出を行うための同軸線21を半田付けしたセンサ素子20を治具22に接着剤で貼着し、ボルト25を用いて治具23との間にセンサ素子20を挟持するように螺着して固定する（以下、この部材を「固定用部材30」という。）。一方、ボルト27を用いて治具26と振動試験機の振動体28とを螺着して固定し、治具26の水平を水準器で調整しておく。

40

【0074】 次いで、固定用部材30のボルト穴22b、23bと治具26のめねじ26bとを位置合わせし、ボルト24を用いて固定用部材30と治具26とを螺着することにより、センサ素子20と振動試験機の振動体28とを固定した。

【0075】 センサ素子20を図5(b)に示すようにモデル化して説明すれば、センサ素子20をX軸方向に振動させる場合における治具26に対する取付位置は図6(a)に示す位置となり、180°回転させた取付位置は図6(b)に示す位置となる。同様にY軸方向に

50

振動させる場合には図7、Z軸方向に振動させる場合には図8に示す位置にセンサ素子20を取り付ければよい。

【0076】 なお、X、Y軸を測定対象とする場合には固定用部材30は、治具26の側面に取り付けられるため、治具26の固定用部材30を取り付けた面の裏面に固定用部材30と同一形状、同一重量のダミー治具29を螺着して固定し、重量を均衡させた。

【0077】 まず、図6(a)の位置にセンサ素子20を含む固定用部材30を固定し、振動周波数80Hzにおいて、振動試験機の振動体28に貼着された標準ピックアップ31のX軸方向の最大加速度 $A_{x1}$ が $10\text{ m/s}^2$ の正弦波となるように振動試験機の振動を調整した。この状態において、センサ素子20からの第1の電\*

\* 氣的出力、即ち各軸用の圧電素子に発生した電圧の測定値 $V_{x1}$ 、 $V_{y1}$ 、 $V_{z1}$ 、及び各々の振動の位相について測定した。

【0078】 また、固定用部材30とダミー治具29の取付位置を入れ替えて（即ち、 $180^\circ$ 回転させた位置で取り付けて）、同様にX軸方向の最大加速度 $A_{x2}$ が $10\text{ m/s}^2$ の正弦波となるように振動試験機の振動を調整し、センサ素子20からの第2の電氣的出力、即ち各軸用の圧電素子に発生した電圧の測定値 $V_{x2}$ 、 $V_{y2}$ 、 $V_{z2}$ 、及び各々の振動の位相遅れについて記録した。これらの結果を表1及び図9(a)～(c)に示す。

【0079】

【表1】

	感度出力 (mV)			位相遅れ (msec)		
	X軸用素子	Y軸用素子	Z軸用素子	X軸用素子	Y軸用素子	Z軸用素子
第1の電圧	50	1.0	2.1	0.0	0.7	-1.6
	$V_{x1}$	$V_{y1}$	$V_{z1}$			
第2の電圧	50	2.8	2.5	0.0	-0.3	1.3
	$V_{x2}$	$V_{y2}$	$V_{z2}$			

【0080】 更に、図9(a)～(c)に示すように、第1の電圧の測定値 $V_{x1}$ 、 $V_{y1}$ 、 $V_{z1}$ 、第2の電圧の測定値 $V_{x2}$ 、 $V_{y2}$ 、 $V_{z2}$ から、各軸毎に第1の電圧の測定値と第2の電圧の測定値との和の $1/2$ 、※30

※ 差の $1/2$ のグラフをそれぞれ作図し、各々のグラフにおけるピーク値を読みとった。その結果を表2に示す。

【0081】

【表2】

	感度出力 (mV)			位相遅れ (msec)		
	X軸用素子	Y軸用素子	Z軸用素子	X軸用素子	Y軸用素子	Z軸用素子
和の $1/2$	50	1.8	1.7	0.0	0.0	0.0
	$\frac{V_{x1}+V_{x2}}{2}$	$\frac{V_{y1}+V_{y2}}{2}$	$\frac{V_{z1}+V_{z2}}{2}$			
差の $1/2$	0.0	1.0	1.5	0.0	0.8	3.4
	$\frac{V_{x1}-V_{x2}}{2}$	$\frac{V_{y1}-V_{y2}}{2}$	$\frac{V_{z1}-V_{z2}}{2}$			

【0082】 同様に、センサ素子20を図7の位置に取り付けてY軸を測定対象とした場合における、図8の位置に取り付けてZ軸を測定対象とした場合における、第1及び第2の電圧の測定値、並びに振動の位相遅れを測定し、第1の電圧の測定値と第2の電圧の測定値との和の $1/2$ 、差の $1/2$ のグラフをそれぞれ作図

し、各々のグラフにおけるピーク値を読みとった。その結果を、表3、表4に示す。

【0083】

【表3】

	感度出力 (mV)		
	X軸用素子	Y軸用素子	Z軸用素子
和の1/2	1.1	50	1.1
	$\frac{V_{x1}+V_{x2}}{2}$	$\frac{V_{y1}+V_{y2}}{2}$	$\frac{V_{z1}+V_{z2}}{2}$
差の1/2	1.1	0.0	1.7
	$\frac{V_{x1}-V_{x2}}{2}$	$\frac{V_{y1}-V_{y2}}{2}$	$\frac{V_{z1}-V_{z2}}{2}$

【0084】

【表4】

	感度出力 (mV)		
	X軸用素子	Y軸用素子	Z軸用素子
和の1/2	2.5	0.2	50
	$\frac{V_{x1}+V_{x2}}{2}$	$\frac{V_{y1}+V_{y2}}{2}$	$\frac{V_{z1}+V_{z2}}{2}$
差の1/2	1.6	1.2	0.0
	$\frac{V_{x1}-V_{x2}}{2}$	$\frac{V_{y1}-V_{y2}}{2}$	$\frac{V_{z1}-V_{z2}}{2}$

【0085】 表2～表4の結果より、センサ素子のX、Y、Z各軸毎の主軸感度の絶対値が表5に示すように、ノイズ感度の相対値が表6に示すように算出される。また、振動試験機由来のノイズ振動の相対値（近似値）が表7に示すように算出される。

【0086】

【表5】

	感度出力 (mV)		
	X軸用素子	Y軸用素子	Z軸用素子
主軸感度 (絶対値)	50	50	50

【0087】

【表6】

	感度相対値 (%)		
	X軸用素子	Y軸用素子	Z軸用素子
X軸方向加振時	100	4	9
	xx	yx	zx
Y軸方向加振時	2	100	2
	xy	yy	zy
Z軸方向加振時	5	0	100
	xz	yz	zz

【0088】

【表7】

	振動相対値 (%)		
	X軸方向振動	Y軸方向振動	Z軸方向振動
X軸方向加振時	100	2	3
	—	$\beta$	$\gamma$
Y軸方向加振時	2	100	3
	$\beta$	—	$\gamma$
Z軸方向加振時	3	2	100
	$\gamma$	$\beta$	—

【0089】

【発明の効果】 以上説明したように、本発明の感度評価方法によれば、振動試験機に由来するノイズ振動の影響を排除することができ、加速度センサ素子の主軸感度とノイズ感度とをいずれも正確に評価することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

40 【図1】 振動試験機の例を示す概略断面図である。

【図2】 本発明に使用するセンサ素子の一の実施例を示す概略説明図であって、(a)は上面図、(b)はA-A'断面図である。

【図3】 本発明に使用するセンサ素子の作動状況を示す概略説明図(a)、(b)、(c)である。

【図4】 センサ素子と振動試験機との固定方法の例を示す概略斜視図である。

【図5】 (a)はセンサ素子の実際の形状を示す上面図、(b)はセンサ素子をモデル化した図である。

50 【図6】 センサ素子をX軸方向に振動させる場合にお

ける治具に対する取付位置を示す概略説明図 (a)、  
(b) である。

【図7】 センサ素子をY軸方向に振動させる場合における治具に対する取付位置を示す概略説明図 (a)、  
(b) である。

【図8】 センサ素子をZ軸方向に振動させる場合における治具に対する取付位置を示す概略説明図 (a)、  
(b) である。

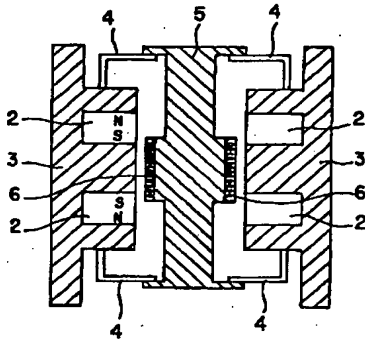
【図9】 センサ素子をX軸方向に振動させた際の測定波形を示すグラフであって、(a)はX軸用素子の出力、(b)はY軸用素子の出力、(c)はZ軸用素子の出力を示す。

\*【符号の説明】

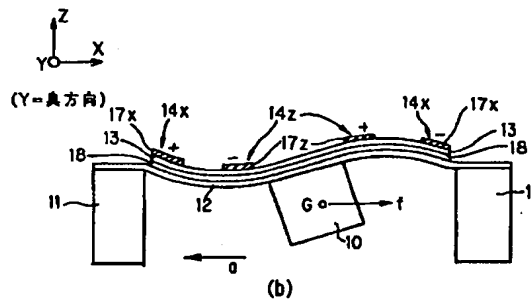
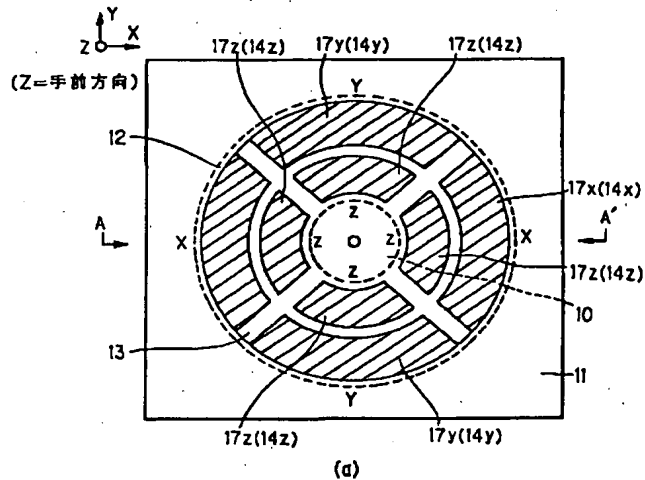
1…振動試験機、2…励磁用コイル、3…基台、4…板バネ、5…振動体、6…駆動用コイル、10…重錘、11…支台、12…可撓板、13…圧電体、14…圧電素子、16…円筒状中空部、17…上部電極、18…下部電極、20…センサ素子、21…同軸線、22、23…治具、24、25…ボルト、26…治具、27…ボルト、28…振動体、29…ダミー治具、30…固定用部材、31…標準ピックアップ、32a…ボンディングパッド(上部電極)、32b…ボンディングパッド(下部電極)。

\*

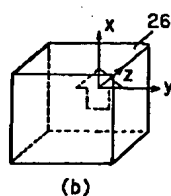
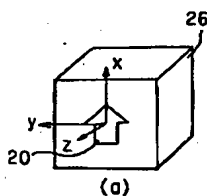
【図1】



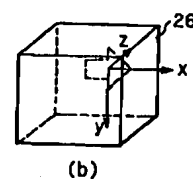
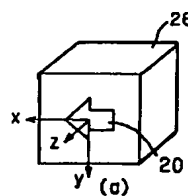
【図2】



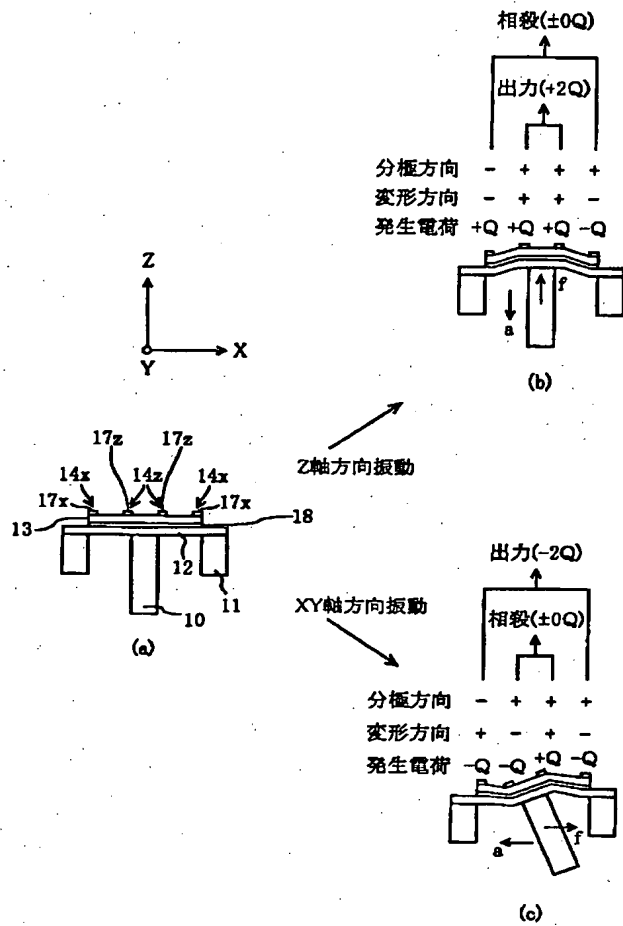
【図6】



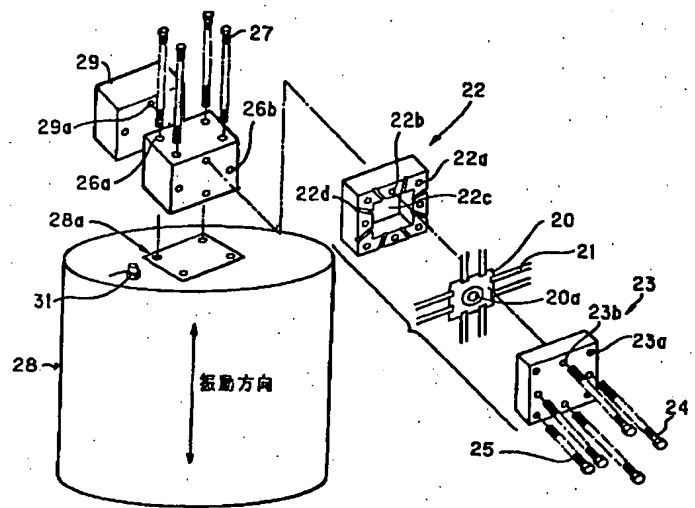
【図7】



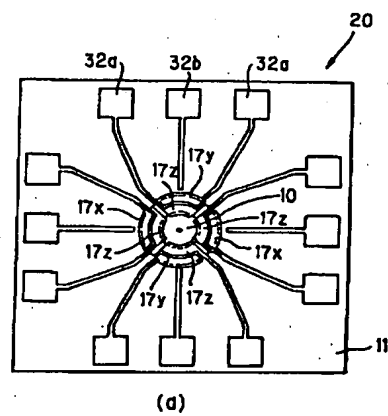
【図3】



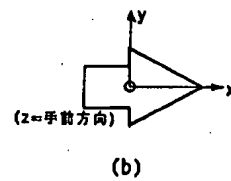
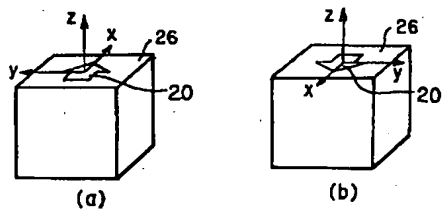
【圖4】



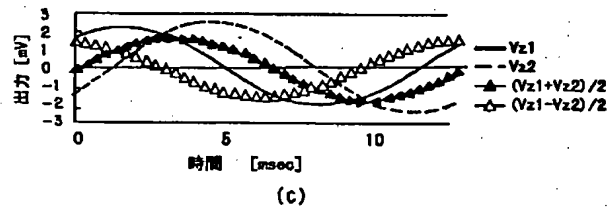
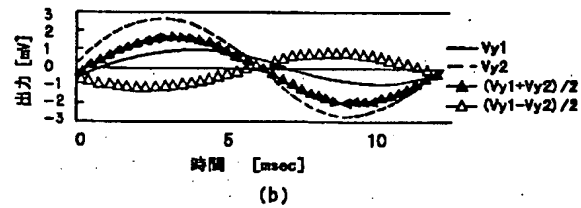
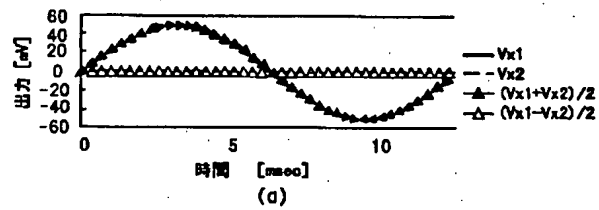
【図5】



【图 8】



【図9】



フロントページの続き

(72)発明者 柴田 和義  
愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号 日  
本碍子株式会社内

(72)発明者 安藤 秀樹  
愛知県小牧市大字下末字五反田434番地の  
3 エヌジーケイ・オプトセラミックス株  
式会社内

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/006840

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl<sup>7</sup> G01P21/00, G01P15/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>7</sup> G01P21/00, G01P15/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2005
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2005	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2005

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	Akira UMEDA et al., "Laser Kanshokei to Sanjigen Shindodai ni yoru Sanjiku Kasokudo Sensor no Sanjigen Kasokudo Sensor to shiten o Kosei Hoho", The Japan Society of Mechanical Engineers, Shindo Onkyo Shin Gijutsu Symposium Koen Ronbunshu, 2003, pages 67 to 70	1-15
X Y	JP 2000-338128 A (NGK Insulators, Ltd.), 08 December, 2000 (08.12.00), Full text (Family: none)	1-3 4-15
P, X	Akira UMEDA et al., "Kansei Sensor no Kosei o Saiko suru (Kasokudo wa Vector de aru)", The Transactions E of the Institute of Electrical Engineers of Japan, Vol.125, No.3, 2005, pages 108 to 117	1-15

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

## \* Special categories of cited documents:

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
04 July, 2005 (04.07.05)Date of mailing of the international search report  
19 July, 2005 (19.07.05)Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

# Methods for the calibration of vibration and shock pick-ups —

## Part 11: Testing of transverse vibration sensitivity

### 1 Scope

ISO 5347 comprises a series of documents dealing with methods for the calibration of vibration and shock pick-ups.

This part of ISO 5347 lays down detailed specifications for the instrumentation and procedure to be used for transverse vibration sensitivity testing. It applies to rectilinear velocity and acceleration pick-ups.

This part of ISO 5347 is applicable for a frequency range from 20 Hz to 5 000 Hz and a dynamic range from 10 m/s<sup>2</sup> to 1 000 m/s<sup>2</sup> (frequency-dependent) and from 1 mm/s to 1 m/s (frequency-dependent).

The limits of uncertainty applicable are  $\pm 10\%$  of reading.

NOTE 1 Some (especially velocity) pick-ups may require testing by rotational vibration along their sensing axis.

### 2 Apparatus

#### 2.1 Equipment capable of maintaining room temperature at $23^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$ .

2.2 Vibrator, having a fixture for transverse vibration of the pick-up. It shall be possible to mount the accelerometer at different angles about its sensing axis, preferably for continuous rotation over at least  $180^\circ$ .

The transverse acceleration of the vibrator fixture shall, in the case of test frequencies and standard pick-ups, be  $< 2\%$  of the vibration in the intended direction and, in the case of special pick-ups,  $< 1\%$ , which can be achieved by proficient fixture design and by testing at selected frequencies.

### 3 Preferred amplitudes and frequencies

One amplitude and, if no resonance frequencies are found, six frequencies equally covering the pick-up frequency range shall be chosen from the following series:

a) Amplitude, in metres per second squared:

1; 2; 5; 10; 20; 50; or their multiples of ten;

reference amplitude for velocity pick-ups  
100 mm/s<sup>2</sup> (second choice: 20 mm/s<sup>2</sup>);

reference amplitude for accelerometers  
100 m/s<sup>2</sup> (second choice: 10 m/s<sup>2</sup>).

b) Frequency, in hertz:

20; 40; 80; 160; 315; 630; 1 250; 2 500; 5 000;

reference frequency 160 Hz (second choice:  
80 Hz).

### 4 Method

#### 4.1 Test procedure

Vibrate the pick-up at the reference amplitude and frequency in its sensing axis to determine its sensitivity. Determine the maximum and minimum values for transverse sensitivity by vibrating perpendicularly to the main axis of the pick-up. Then check the transverse response at different frequencies by frequency sweeping.

The directions and magnitudes of the maximum and minimum transverse responses shall be reported at

the reference frequency. It shall also be reported if the response differs at other frequencies (main resonance or preferred frequencies).

where

$A_{\text{res}}$  is the transverse response amplitude;

$A$  is the vibration amplitude in the test direction.

NOTE 2 The maximum and minimum values for the transverse sensitivity can be a function of frequency.

#### 4.2 Expression of results

Calculate the transverse sensitivity,  $S_{\text{trans}}$ , expressed as a percentage, using the following formula:

$$S_{\text{trans}} = \frac{A_{\text{trans}}}{A} \times 100$$